塔里木东风低空急流特征分析

杨 霞[1]， 周鸿奎[2]， 赵克明[1]， 许婷婷[1]

（1. 新疆维吾尔自治区气象台，新疆 乌鲁木齐 830002；
2. 新疆维吾尔自治区气象信息中心，新疆 乌鲁木齐 830002）

摘 要：利用1981—2020年常规探空资料对塔里木东风低空急流进行了分析。结果表明：（1）塔里木东风低空急流平均每年出现74.2 d，整体呈减少趋势；平均风速为16.3 $m\cdot s^{-1}$，呈减小趋势；平均高度为1555.1 m，呈升高趋势；平均高层垂直风切变为$9.94\times10^{-3}\ s^{-1}$，低层为$7.33\times10^{-3}\ s^{-1}$，均呈减弱趋势。（2）塔里木东风低空急流的季节变化明显，其日数、风速和垂直风切变都是春季最多（强），夏季次之，冬季最小（弱）；高度则为冬季最高、秋季次之，春季最低。（3）塔里木东风低空急流的逐月差异较大，其日数和高层垂直风切变均在5月最多（强），12月最少（弱）；平均风速在5月最大，12月最小；平均高度在1月最高，4月最低；低层垂直风切变在4月最强，12月最弱。（4）塔里木东风低空急流的平均持续时间为2.3 d，夏季最长，冬季最短，出现次数随持续时间的增加而迅速减小，其中，持续1 d的塔里木东风低空急流出现次数最多，占总次数的48%；持续时间在3 d以内的出现次数占总次数的76.0%。位于内陆干旱区的塔里木东风低空急流，从上下层垂直风切变的分布特征来看，总体属于大尺度低空急流，与我国季风区的中尺度低空急流存在差异。

关键词：低空急流；东风；塔里木盆地；垂直风切变

低空急流是一种发生在边界层或对流层低层的强而窄的气流带，风速大于12 $m\cdot s^{-1}$，高度主要位于600 hPa以下[1]。低空急流的垂直结构通常只有几百米，但在水平方向上能够延伸上百千米，对各类天气的发生、发展都有重要的影响。低空急流广泛存在于世界各地，20世纪30年代末就引起了学者的关注，随着全球探测技术的不断改进，低空急流的结构、演变特征以及其对强天气过程的影响等逐步被认识[2-5]。研究表明，我国华南、长江流域多数暴雨过程都伴有低空急流，华南地区5月和6月急流日出现暴雨的机率分别为70%和79%，而在江淮地区，梅雨期间低空急流与暴雨天气过程的相关率甚至超过80%[6-8]。在沙漠地区由于低空急流的动量下传引起地面风速增大，对沙尘暴的发生和传输也具有重要作用[9-14]。此外，低空急流对近地面湍流活动及污染物的传输以及航空安全、风能利用等人类活动都存在密切的联系[15]。因此，研究低空急流对揭示灾害性天气的发生机理及国民经济和人类生活具有重要意义。

塔里木盆地是我国面积最大的内陆盆地，拥有我国最大的沙漠——塔克拉玛干沙漠，是世界上重要的沙尘源区，在塔里木盆地东部存在一支低空偏东风急流，称为“塔里木东风低空急流”[16-17]。塔里木东风低空急流位于内陆干旱区，与我国季风区低空急流存在差异。天气个例研究表明，塔里木东风低空急流的中心强度和空间尺度与我国季风区的西南低空急流相当，但其高度比西南低空急流低。塔里木东风低空急流中心强度一般为16~24 $m\cdot s^{-1}$，距离地面的实际高度为900 m左右，急流宽度100~200 km，长度为1000 km到几千千米[18]。塔里木东风低空急流轴呈准东西向，急流轴自东向西逐渐降低，东风层自南向北逐渐变薄。塔里木东风低空急流有两条路径，一条自南疆东部开始伸向西南，另一条从甘肃敦煌开始向西伸展，两条路径都经过若羌站，而且在若羌附近加强，在阿尔金山折向西或者西北，最后在南疆西部消失，因此若羌（位于

收稿日期：2021-03-15； **修订日期：**2021-04-21
基金项目：国家自然科学基金地区基金项目（42065001）；国家自然科学基金重点项目（42030612）；第二次青藏高原综合科学考察研究项目（2019QZKK0102）共同资助
作者简介：杨霞（1980-），女，硕士，正高级工程师，主要从事灾害性天气机理和预报技术研究. E-mail: Yangxia921@163.com

88°11′00″E,39°01′00″N,海拔高度888.2 m)是塔里木东风低空急流的重要指标站[19]。目前,在新疆实际天气预报业务中也主要使用若羌站低层风场,来判断塔里木东风低空急流的建立、消亡和强度等。过去由于受到观测资料的限制,早期开展的塔里木东风低空急流的研究主要以天气个例分析为主[20-21],较为零散,缺乏系统性,而且主要关注塔里木东风低空急流与南疆暴雨或沙尘暴天气的关系[22],而对塔里木东风低空急流本身的特征研究较少。近几十年来,塔里木东风低空急流的风速、高度、持续时间等是否发生了变化,在年代际、年际、季节等时间尺度上呈现怎样的变化特征都尚不十分明确。本文基于指标站若羌的探空资料,研究塔里木东风低空急流的变化特征,揭示其与我国季风区低空急流的差异,以期加深其对南疆暴雨、沙尘暴等灾害性天气影响机制的认识,为提高干旱区灾害性天气预报准确率提供科学参考。

1 资料和方法

1.1 资料

本文使用新疆气象信息中心提供的1981-01-01—2020-12-31,若羌站(88°11′00″E,39°01′00″N)每日2次(00:00 UTC 和12:00 UTC)的探空资料,对应的北京时间(BST=UTC+08:00)分别为08:00 BST和20:00 BST,以下分析均为北京时间;首先对探空资料进行查验,剔除了异常值和缺测数据。

1.2 方法

本文中东风低空急流指某日08:00或20:00两个时次中,任一时次在600 hPa以下的标准层上出现风向在33.76°~146.25°之间,风速≥12 m·s^{-1}的现象。若探空资料的第一层风速≥12 m·s^{-1},且该层上方最近一层的风速小于该层的风速值,则定义第一层出现低空急流;若除第一层以外的其他层风速≥12 m·s^{-1},且该层临近的上、下两层的风速均小于该层的风速值,则定义该层出现低空急流。

低空急流的高度指低空急流出现的海拔高度,也是低空急流核(“鼻状”廓线的顶点)所在的高度,本文所研究的层次只限于标准层。

低空急流日指某日08:00或20:00两个时次中,任一时次出现低空急流,则该日记为一个低空急流日。低空急流日数指达到低空急流标准的天数。

低空急流的垂直风切变指低空急流的风矢量在垂直距离上的变化量。

$$M_1=\frac{\sqrt{\left(V_2\sin\theta_1-V_c\sin\theta_c\right)^2+\left(V_c\cos\theta_2-V_c\cos\theta_c\right)^2}}{z_1-z_c}\quad(1)$$

$$M_2=\frac{\sqrt{\left(V_2\sin\theta_1-V_2\sin\theta_2\right)^2+\left(V_2\cos\theta_c-V_2\cos\theta_c\right)^2}}{z_c-z_2}\quad(2)$$

式中:M_1为低空急流上部的垂直风切变值,单位为s^{-1};M_2为低空急流下部的垂直风切变值,单位为s^{-1}。V_1为与低空急流核所在层相邻的上层的风速矢量,单位为m·s^{-1};V_c为低空急流核的风速矢量,单位为m·s^{-1};V_2为与低空急流核所在层相邻的下层的风速矢量,单位为m·s^{-1};θ为风向,单位为°,正北为0°或360°;θ_1为与低空急流核所在层相邻的上层的风向;θ_c为低空急流核的风向;θ_2为与低空急流核所在层相邻的下层的风向;单位为m;Z_1为与低空急流核所在层相邻的上层的高度,单位为m;Z_c为低空急流核所在层的高度,单位为m;Z_2为与低空急流核所在层相邻的下层的高度,单位为m。

2 结果分析

2.1 频次

2.1.1 年际和年代际变化 由图1a可以看出,1981—2020年,塔里木东风低空急流日数的年际变化较大,在过去的40 a里,共出现2382个塔里木东风低空急流日,平均每年出现74.2 d,其中1994年、1995年和1999年的塔里木东风低空急流日数最多,均为89 d,1982年最少,仅为58 d。由图1a还可以看出,1981—2020年,塔里木东风低空急流日数呈弱的减少趋势,平均每10 a减少0.4 d,但该减少趋势未通过显著性检验。从图1b可以看出,20世纪90年代的塔里木东风低空急流日数最多,为769 d;21世纪00年代次之,为756 d;20世纪80年代第3,为729 d;21世纪10年代最少,仅为712 d。可见,塔里木东风低空急流日数在年代际尺度上,从20世纪90年代至今,减少趋势较为明显。

2.1.2 月变化和季节变化 塔里木东风低空急流日数的逐月分布差异较大,由图2a可以看出,5月的塔里木东风低空急流日数最多,平均为10.3 d,8月次之,为9.1 d;12月最少,仅为1.8 d,5月的塔里木东风低空急流日数约为12月的6倍。此外,从各月塔里木东风低空急流日数的逐年变化看,其逐月变化

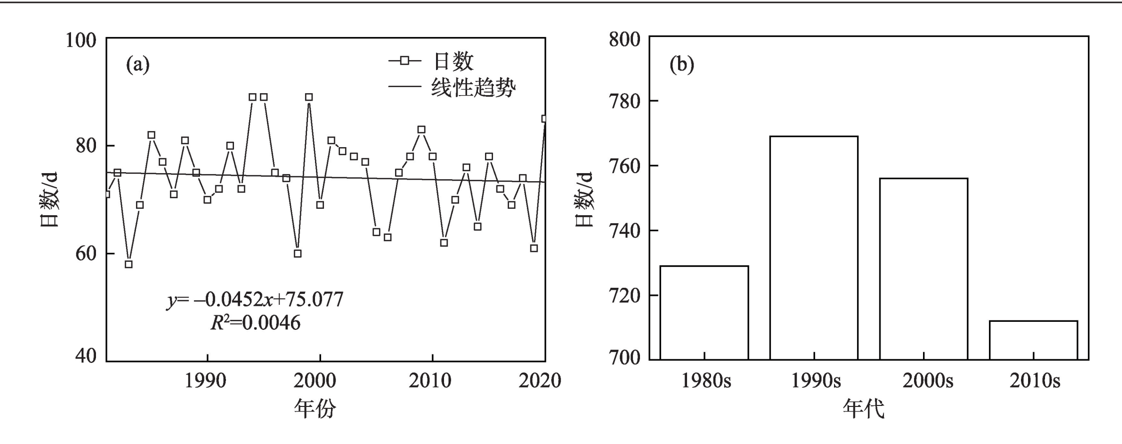


图1 1981—2020年塔里木东风低空急流日数的年际(a)和年代际(b)变化

Fig. 1 Interannual(a) and interdecadal(b) variation characteristics of the number of the easterly low-level jet in Tarim from 1981 to 2020

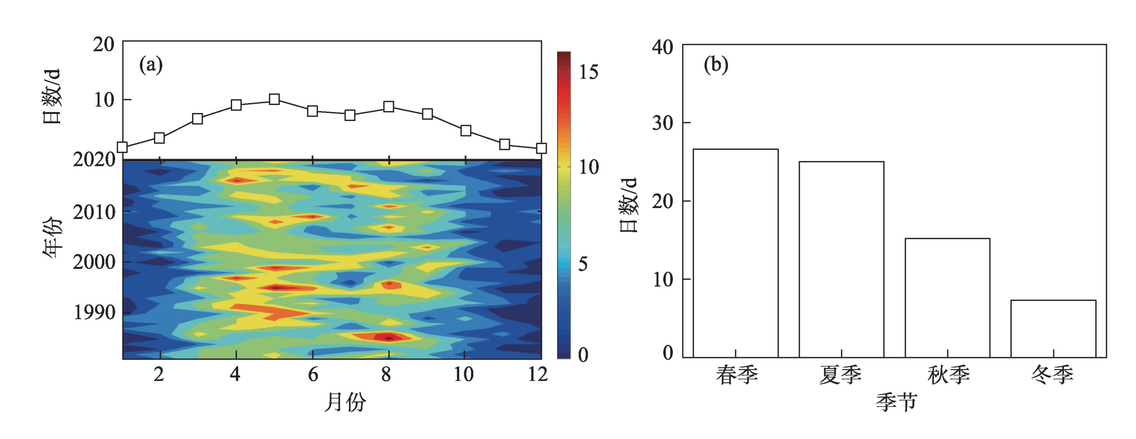


图2 1981—2020年塔里木东风低空急流日数的逐月(a)和季节(b)特征

Fig. 2 Monthly (a) and seasonal (b) variation characteristics of the number of the easterly low-level jet in Tarim from 1981 to 2020

总体特征也存在年际变化和差异。表1给出1—12月塔里木东风低空急流日数的年际变化趋势，除4、9、10月和12月的塔里木东风低空急流日数呈增加趋势外，其他月份均呈减少趋势，其中12月的增加趋势和3月的减少趋势最明显，分别通过了α=0.1和α=0.05的信度检验。3月是南疆春耕春播的关键期，沙尘天气也是这一时期的主要灾害性天气之一，塔里木东风低空急流是造成南疆沙尘天气的重要天气系统，因此，3月塔里木东风低空急流日数的显著减少，使得沙尘天气减少，有利于南疆开展春耕春播等农事活动。从图2b可以看出，塔里木东风低空急流日数的季节差异也较大，春季最多，平均为26.6 d；夏季次之，为25.0 d；秋季第3，为15.2 d；冬季最少，仅为7.3 d。春季的塔里木东风低空急流日数约为冬季的3.6倍。

2.2 风速

2.2.1 年际和年代际变化 从图3a可以看出，1981—2020年，塔里木东风低空急流风速呈明显的减小趋势，平均每10 a减少0.1 m·s^{-1}，减小趋势通过了α=0.1的信度检验。塔里木东风低空急流风速的年际变化也较大，过去40 a塔里木东风低空急流的平均风速为16.3 m·s^{-1}，其中1994年和2001年最大，均为17.0 m·s^{-1}，1999年和2008年最小，均为15.4 m·s^{-1}。从塔里木东风低空急流风速的年代际变化可以看出(图3b)，20世纪80年代，塔里木东风低空急流的风速最大，为16.4 m·s^{-1}；20世纪90年代，减小为16.3 m·s^{-1}，进入21世纪后，塔里木东风低空急流的风速进一步减小至16.2 m·s^{-1}。

2.2.2 月变化和季节变化 1981—2020年，塔里木东风低空急流平均风速的逐月分布差异较大(图

表1　塔里木东风低空急流逐月变化趋势

Tab. 1　The monthly trend of the easterly low-level jet in Tarim

月份	日数 /[d·(10a)$^{-1}$]	风速 /[m·s^{-1}·(10a)$^{-1}$]	高度 /[m·(10a)$^{-1}$]	高层切变 /[10^{-3} s^{-1}·(10a)$^{-1}$]	低层切变 /[10^{-3} s^{-1}·(10a)$^{-1}$]
1	−0.039	−0.608	4.500	−0.709	−1.009*
2	−0.089	−0.344	56.331	−0.306	−0.126
3	−0.575**	−0.201	−12.41	−0.402*	−1.118**
4	0.129	−0.303	−3.880	−0.261	−1.462**
5	−0.075	0.147	11.766	0.014	−1.314**
6	−0.023	0.003	19.309	−0.102	−1.157**
7	−0.013	−0.223	23.462	−0.126	−0.900**
8	−0.183	−0.211	−3.793	−0.170	−0.092
9	0.124	−0.15	−8.042	−0.136	−0.708*
10	0.060	−0.187	−1.426	−0.003	−0.763
11	−0.076	−1.162*	−107.407*	−0.684	−0.534
12	0.310*	0.335	163.177*	0.852*	0.347

注:*表示通过α=0.1信度检验;**表示通过α=0.05信度检验。

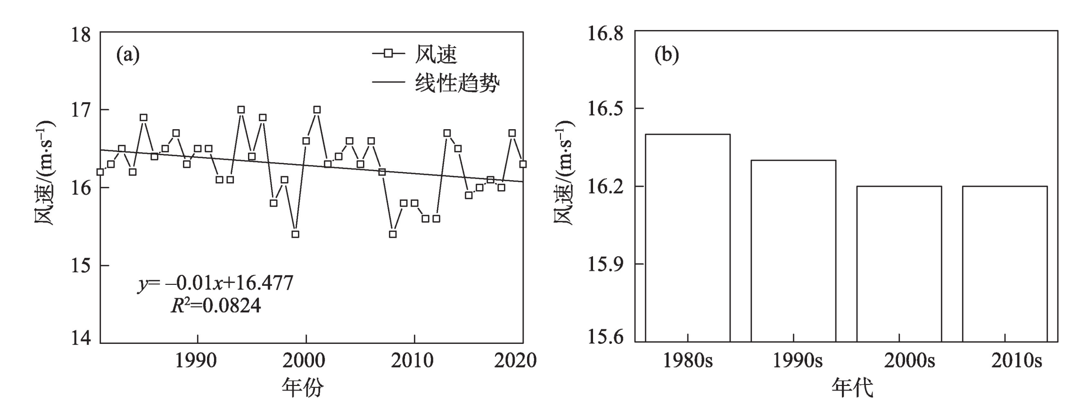


图3　1981—2020年塔里木东风低空急流平均风速的年际(a)和年代际(b)变化

Fig. 3　Interannual (a) and interdecadal (b) variations of mean wind speed of the easterly low-level jet in Tarim during 1981–2020

4a),5月平均风速最大,为17.7 m·s^{-1};4月次之,为17.2 m·s^{-1};1月最小,仅为14.2 m·s^{-1}。与急流日数类似,各月的塔里木东风低空急流风速也存在明显的年际变化和差异。从表1可以看出,除5月、6月和12月的塔里木东风低空急流风速呈增大趋势外,其他月份均呈减小趋势,其中11月的减小趋势最明显,通过了α=0.05的信度检验,其他月份的变化趋势较弱,均未能通过显著性检验。塔里木东风低空急流平均风速的季节分布特征与急流日数类似(图4b),也呈现较大的季节差异,即春季最大(16.9 m·s^{-1});夏季次之(16.3 m·s^{-1});秋季第3(15.6 m·s^{-1}),冬季最少(14.5 m·s^{-1})的特征;春季和冬季的平均风速相差2.4 m·s^{-1}。

2.3　高度

2.3.1　年际和年代际变化　由图5a可以看出,1981—2020年,塔里木东风低空急流的平均海拔高度为1555.1 m, 其中,1983年最低,为1457.0 m;1982年最高为1684.2 m。1981—2020年,塔里木东风低空急流的平均海拔高度呈弱的增加趋势,平均每10 a增加4.4 m,但该增加趋势未通过显著性检验。从塔里木东风低空急流平均海拔高度的年代际变化(图5b)可以看出,21世纪00年代,塔里木东风低空急流的平均海拔高度最高,为1579.7 m;21世纪10年代次之,为1551.8 m;20世纪80年代第3,为1546.7 m;20世纪90年代最低,为1542.7 m。进入21世纪后,塔里木东风低空急流的平均海拔高度较20世纪80—

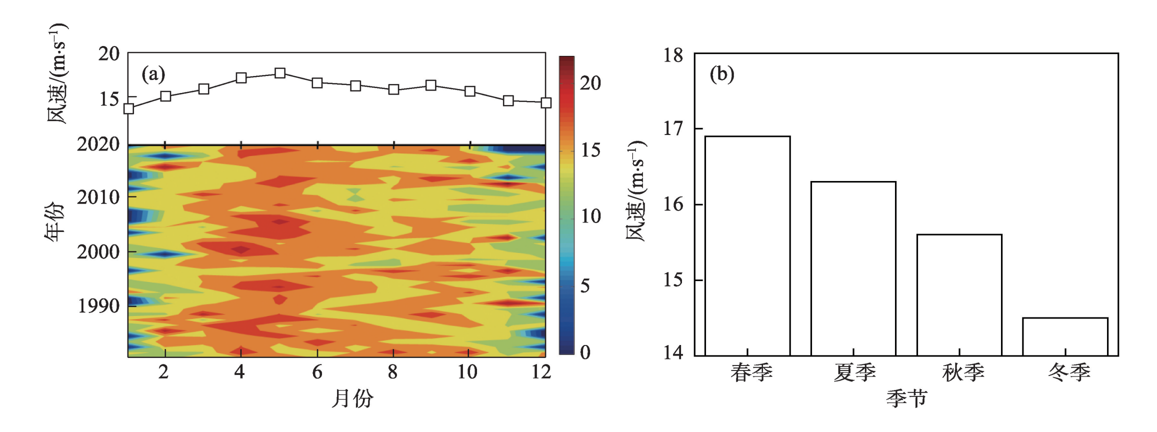


图4 1981—2020年塔里木东风低空急流平均风速的逐月(a)和季节(b)特征

Fig. 4 Monthly (a) and seasonal (b) characteristics of the mean wind speed of the easterly low-level jet in Tarim during 1981–2020

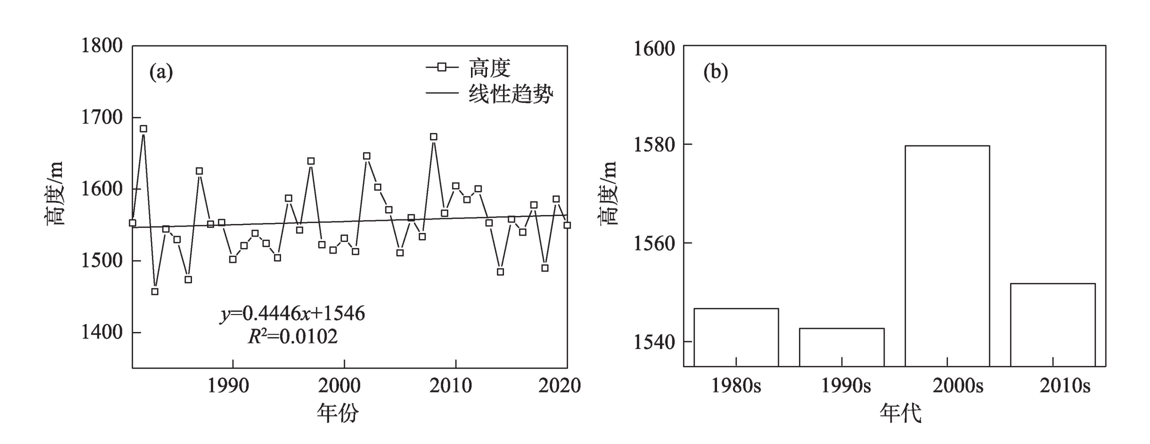


图5 1981—2020年塔里木东风低空急流核高度的年际(a)和年代际(b)变化

Fig. 5 Interannual (a) and interdecadal (b) variations of the altitude of the easterly low-level jet in Tarim during 1981–2020

90年代有所升高。

2.3.2 月变化和季节变化 从1981—2020年塔里木东风低空急流平均高度的逐月分布特征中可以看出(图6a),1月,塔里木东风低空急流的平均海拔高度最高,为2080.2 m,12月次之,为1921.2 m;4月最低,仅为1500.1 m。可见,塔里木东风低空急流平均海拔高度的逐月分布差异较大,1月的平均海拔高度比4月高580.1 m。从1—12月塔里木东风低空急流平均海拔高度的逐年变化来看,其逐月变化总体特征也存在年际变化和差异。由表1可以看出,1、2、5、6、8月和12月的塔里木东风低空急流的平均海拔高度呈升高趋势,其余月份均呈降低趋势,其中12月的升高趋势和11月的降低趋势最明显,均通过了α=0.1的信度检验。从图6b可以看出,塔里木东风低空急流平均海拔高度的季节分布特征与急流日数和风速之间均存在较大的差异,其平均海拔高度在冬季最高,为1928.3 m;秋季次之,为1566.8 m;夏季第3,为1517.2 m;春季最低,仅为1508.8 m。冬季的塔里木东风低空急流平均海拔高度比春季高419.5 m。

2.4 高、低层垂直风切变

2.4.1 年际和年代际变化 研究表明,低空急流附近存在明显的垂直风切变,垂直风切变在不同尺度的低空急流中存在较大的差异,在中尺度低空急流中高层垂直风切变较小;低层垂直风切变较大;而在大尺度低空急流中,高、低层垂直风切变呈相对对称的分布,高层垂直风切变略大于低层[23]。由图7a和7b可以看出,1981—2020年,塔里木东风低空急流的高层和低层垂直风切变都呈减小趋势,其中高层垂直风切变每10 a减弱0.17×10^{-3} s^{-1},低层垂直风切变每10 a减弱1.02×10^{-3} s^{-1},二者都通过了α=0.05的信度检验。1981—2020年,塔里木东风低空

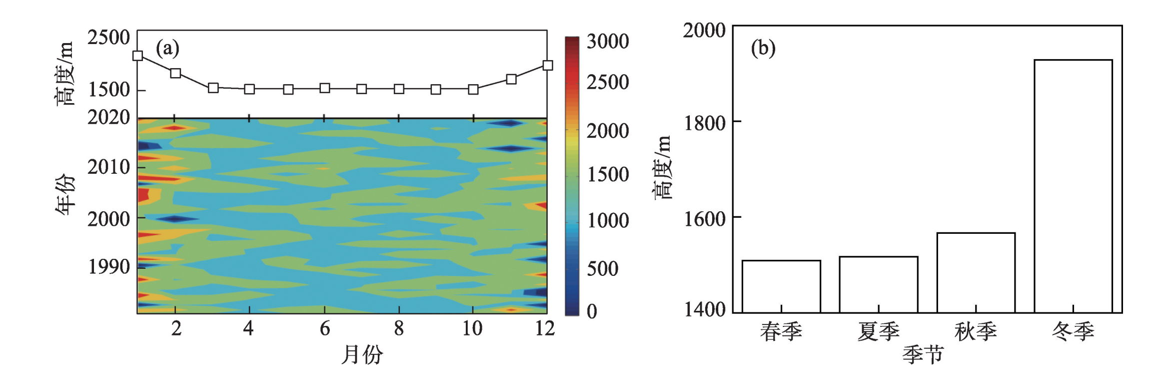


图6　1981—2020年塔里木东风低空急流海拔高度的逐月(a)和季节(b)特征

Fig. 6　Monthly (a) and seasonal (b) characteristics of the altitude of the easterly low-level jet in Tarim during 1981–2020

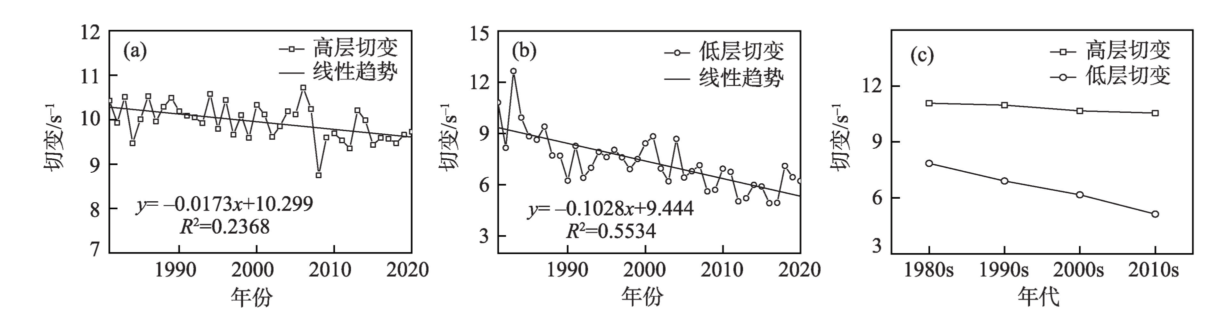


图7　1981—2020年塔里木东风低空急流高层(a)、低层(b)垂直风切变的年际和年代际(c)变化

Fig. 7　Interannual and interdecadal (c) variations of vertical wind shear in the upper (a) and lower (b) layers of the easterly low-level jet in Tarim during 1981–2020

急流高层垂直风切变的平均值为9.94×10^{-3} s^{-1},其中,2008年最低,为8.75×10^{-3} s^{-1};2006年最高为10.72×10^{-3} s^{-1}。低层垂直风切变的平均值为7.33×10^{-3} s^{-1},其中,2016年最低,为4.92 ×10^{-3} s^{-1};1983年最高为12.42×10^{-3} s^{-1}。从图7b可以看出,其高、低层垂直风切变都呈现出年代际减小的趋势,特别是低层垂直风切变减小的趋势更为明显。20世纪80年代,塔里木东风低空急流的高层和低层垂直风切变均最大,分别为10.18×10^{-3} s^{-1}和8.98×10^{-3} s^{-1};20世纪90年代次之,分别为10.05×10^{-3} s^{-1}和7.57×10^{-3} s^{-1};21世纪10年代最小,分别为9.65 ×10^{-3} s^{-1}和5.85×10^{-3} s^{-1}。

总体来看,塔里木东风低空急流的高、低层垂直风切变的差异不大,高层垂直风切变略大于低层,因此塔里木东风低空急流在大多情况下呈现大尺度低空急流的特征,但在个别年份,特别是在一些特殊的天气过程中,塔里木东风低空急流的低层垂直风切变远大于高层,此时的塔里木东风低空急流又呈现中尺度低空急流的特征。这一特征也是干旱区低空急流的特殊性,与我国东部季风区低空急流存在差异[20]。

2.4.2　月变化和季节变化　从1981—2020年塔里木东风低空急流高层和低层垂直风切变的逐月分布特征中,可以看出(图8a、图8b),塔里木东风低空急流高层垂直风切变在5月最大(10.92×10^{-3} s^{-1}),4月次之(10.73×10^{-3} s^{-1});12月最小(7.76×10^{-3} s^{-1})。低层垂直风切变在4月最大(9.12×10^{-3} s^{-1}),5月次之(8.50×10^{-3} s^{-1}),12月最小(2.79×10^{-3} s^{-1})。可见,塔里木东风低空急流高、低层垂直风切变的逐月分布差异较大,特别是低层垂直风切变的差异更大,4月的低层垂直风切变约为12月的3.3倍。从1—12月塔里木东风低空急流高、低层切变的逐年变化来看,二者逐月变化总体特征也存在年际变化和差异。表1显示1—12月塔里木东风低空急流高、低层垂直风切变的年际变化趋势,可以看出高层垂直风切变除5月和12月呈增强趋势外,全年其余月份均呈减弱趋势,其中12月的增强趋势和3月的减弱趋势最明显,均通过了α=0.1的信度检验。低层垂直风切变中除12月呈弱增加趋势外,其余月份均呈

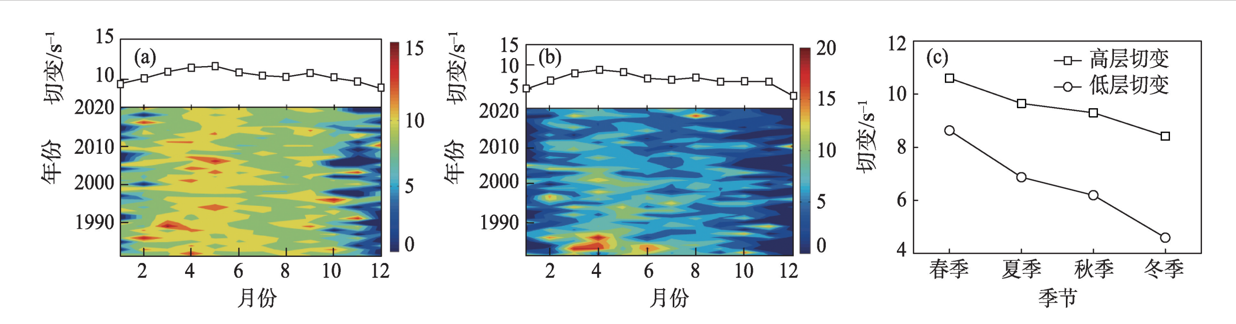


图8 1981—2020年塔里木东风低空急流高层(a)、低层(b)的逐月和季节(c)特征

Fig. 8 Monthly and seasonal (c) variations of vertical wind shear in the upper (a) and lower (b) layers of the easterly low-level jet in Tarim during 1981–2020

减小趋势，特别是1、3、4、5、6、7月和9月的减小趋势均通过了α=0.05的信度检验。从图8b可以看出，塔里木东风低空急流的高、低层垂直风切变也存在较大的季节差异，二者均呈现春季最大、夏季次之、秋季第3、冬季最小的特征。春季是南疆强对流和沙尘天气的高发季节，塔里木东风低空急流高、低层的垂直风切变对上述天气有重要影响，需进一步深入分析其高、低层垂直风切变减弱对强对流和沙尘天气的影响。

2.5 持续性

1981—2020年，塔里木东风低空急流的平均持续时间为2.3 d，其中持续时间为1 d的出现次数最多，为1054次，占总次数的48%；持续时间为2 d的出现次数次之，为454次，占20.7%，持续时间为3 d的出现次数第3，为161次，占7.3%。不难看出，塔里木东风低空急流的出现次数随持续时间的增加而迅速减小，持续时间在3 d以内的出现次数占总次数的76.0%。此外，在过去的40 a里，塔里木东风低空急流最长的持续时间为9 d，但仅出现过1次。南疆三面环山，低层水汽只能从东边输送进入盆地，塔里木东风低空急流就是南疆暴雨过程中重要的水汽输送系统，分析表明，约50%的塔里木东风低空急流的持续时间仅为1 d，对暴雨过程中所需水汽的供应能力有限，因此南疆强降水的持续时间都相对较短。

从塔里木东风低空急流平均持续时间在不同季节的分布情况可以看出(图9b)，春季的平均持续时间为2.3 d，夏季为2.5 d，秋季为2.2 d，冬季为1.5 d，可见塔里木东风低空急流的平均持续时间在夏季最长，冬季最短。塔里木东风低空急流的持续时间，在四季中也表现出次数随持续时间的增加而迅速减小的特征，持续时间在1~3 d的塔里木东风低空急流的出现次数占总次数的75%以上，其中以持续时间在1 d以内的出现次数最多。此外，持续时间在1~4 d的塔里木东风低空急流的出现次数均为春季最多，夏季次之；但持续时间超过4 d的却呈现出夏季最多，春季次之的特征。在过去40 a里，出现的唯一1次持续时间超过9 d的塔里木东风低空急

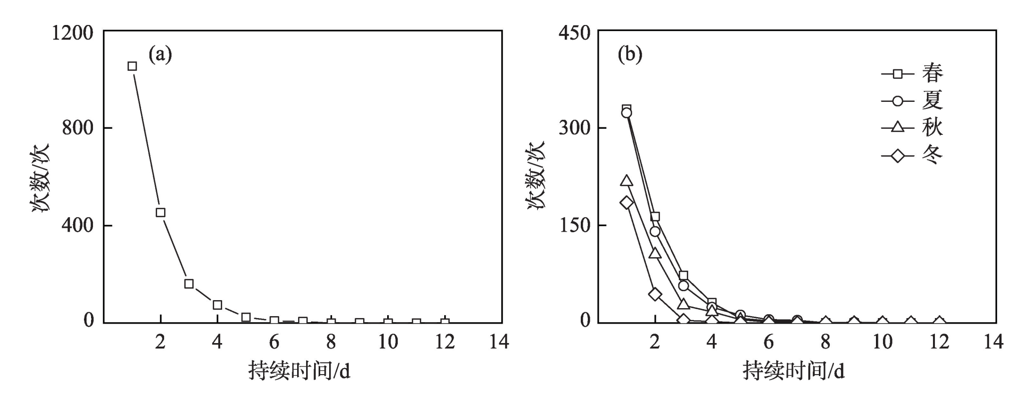


图9 塔里木东风低空急流不同持续时间的频次分布(a)及其在不同季节的分布(b)

Fig. 9 Frequency distribution of the easterly low-level jet in Tarim in different durations (a) and its distribution in different seasons (b)

流就出现在夏季。塔里木东风低空急流出现的主要原因是冷空气造成的低空扰动,在夏季,由于青藏高原热力作用的影响,塔里木盆地处于高原热低压北侧,准定常的存在一致偏东气流,因此当冷空气与高原季风环流叠加时,更易使风速增大,达到低空急流标准。因此,夏季塔里木东风低空急流比其他季节的平均持续时间长,出现持续时间大于4 d的次数也更多。

3 结 论

(1) 1981—2020年,共出现2382个塔里木东风低空急流日,平均每年出现74.2 d。塔里木东风低空急流日数春季最多,夏季次之,冬季最少;其中,春季的日数约为冬季的3.6倍。塔里木东风低空急流日数5月最多,12月最少,5月的平均日数约为12月的6倍。过去40 a,塔里木东风低空急流日数整体呈不显著的减少趋势,20世纪90年代最多,进入21世纪后明显减少;逐月变化趋势中除4、9、10月和12月呈增加趋势外,其他月份均呈减少趋势,其中12月的增加趋势和3月的减少趋势分别通过了α=0.1和α=0.05的信度检验。

(2) 塔里木东风低空急流的平均风速呈显著减小趋势,20世纪80年代风速最大,进入21世纪后,明显减小。塔里木东风低空急流的平均风速也呈现春季最大,夏季次之,冬季最少的特征。5月,塔里木东风低空急流的平均风速最大,1月最小。除5、6月和12月外,其他月份的塔里木东风低空急流风速均呈减少趋势,其中11月的减小趋势最显著。

(3) 塔里木东风低空急流的平均海拔高度为1555.1 m,过去40 a呈不显著的增加趋势。21世纪前20 a的平均海拔高度较20世纪80—90年代有所升高。塔里木东风低空急流的平均海拔高度在冬季最高,秋季次之,夏季第3,春季最低;1月最高,4月最低。1、2、5、6、8月和12月的塔里木东风低空急流的平均海拔高度呈升高趋势,其余月份均呈降低趋势,其中12月的升高趋势和11月的降低趋势最明显。

(4) 塔里木东风低空急流的高、低层垂直风切变都呈显著的减小趋势,高层垂直风切变平均为$9.94\times10^{-3}\ s^{-1}$,低层为$7.33\times10^{-3}\ s^{-1}$。由于二者差异不大,因此塔里木东风低空急流整体呈现大尺度低空急流的特征,然而在一些特殊的天气过程中,塔里木东风低空急流也呈现中尺度低空急流的特征。塔里木东风低空急流的高、低层垂直风切变均呈现春季最大、夏季次之、秋季第3、冬季最小的特征。塔里木东风低空急流的高层垂直风切变在5月最大,12月最小;低层垂直风切变在4月最大,也在12月最小。高层垂直风切变除5月和12月呈增强趋势外,其余月份均呈减弱趋势,其中12月的增强趋势和3月的减弱趋势最明显。低层垂直风切变中除12月呈弱增加趋势外,其余月份均呈减小趋势,其中1、3、4、5、6、7月和9月的减小趋势较显著。

(5) 塔里木东风低空急流的平均持续时间为2.3 d,其中以持续时间为1 d的出现次数最多,占总次数的48%;其出现次数随持续时间的增加而迅速减小,持续时间在3 d以内的出现次数占总次数的76.0%。塔里木东风低空急流平均持续时间在夏季最长,冬季最短。

4 讨 论

低空急流广泛分布于世界各地,其自身特征对区域天气气候有重要影响,不同区域的低空急流的特征差异较大。本研究表明,塔里木低空急流以偏东风向为主;春季最多,夏、秋季次之,冬季最少;属于大尺度低空急流;春季低空急流的平均风速最大,冬季最小;而我国季风区的低空急流多以西南风向为主;春季最多,秋、冬季次之,夏季最少;属于中尺度低空急流;冬季低空急流的平均风速最大,夏季最小[24-25]。

在所有的天气系统中,低空急流与暴雨的关系最为密切。研究表明:5月南疆降水偏多与塔里木东风低空急流出现的次数多、强度大有关。本研究发现,过去40 a,塔里木东风低空急流在5月的出现次数呈弱的减少趋势,但该月低空急流的平均风速却呈显著的增大趋势,这一变化趋势可能会造成5月南疆的降水次数有所减少,强度有所增加,从而使得南疆降水的极端性进一步增强。如2018年5月21日,南疆6个国家基本气象站日降水量同时达到暴雨量级,为近50 a来首次;和田地区的皮山站(74.8 mm)和克州的阿克陶站(53.7 mm)日降水量突破有气象记录以来的极值,喀什地区叶城(40.1 mm)、泽普(40.0 mm)和莎车(38.3 mm)3站的日降

水量突破春季历史极值。大暴雨中心皮山站的日降水量是南疆西部22个国家基本气象站有气象记录以来暴雨雨量的极大值。此外,本次过程中皮山站1 h雨量达53.8 mm也是南疆西部各站的小时雨量之首。因为低空急流是暴雨过程中水汽、热量和动量输送的主要载体,因此厘清低空急流与强降水之间的关系,可有效的提高强降水的预报准确率。

塔里木东风低空急流还是造成南疆强沙尘暴的主要天气系统之一。3月是南疆春耕春播的关键期,沙尘天气是影响春耕春播的主要灾害性天气之一。本研究表明,3月塔里木东风低空急流的出现次数显著减少,平均风速减弱,这一变化趋势将对南疆沙尘天气产生重要影响,有益于南疆顺利开展春耕春播工作。本文仅对塔里木东风低空急流的自身特征进行了统计分析,下一步将利用数值模拟等手段深入开展塔里木东风低空急流与南疆暴雨、强对流等方面的相关研究。

参考文献(References):

[1] 刘洪波, 何明洋, 王斌, 等. 低空急流的研究进展与展望[J]. 气象学报, 2014, 72(2): 191-206. [Liu Hongbo, He Mingyang, Wang Bin, et al. Progress and prospect of research on low-level jet[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2014, 72(2): 191-206.]

[2] Farquharson J S. The diurnal variation of wind over tropical Africa [J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1939, 65 (280): 165-184.

[3] Means L L. On thunderstorm forecasting in the central United States[J]. Month Weather Revel, 1952, 80(10): 165-189.

[4] Bonner W D. Climatology of the low level jet[J]. Month Weather Revel, 1968, 96(12): 833-850.

[5] Chen G T J, Yu C C. Study of low-level jet and extremely heavy rainfall over northern Taiwan in the Mei-yu season[J]. Month Weather Revel, 1988, 116(4): 884-891.

[6] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 255. [Tao Shiyan. Heavy Rainfalls in China[M]. Beijing: Science Press, 1980: 255.]

[7] 孙淑清, 马廷标, 孙纪改. 低空急流与暴雨相互关系的对比分析[J]. 气象学报, 1979, 37(4): 36-44. [Sun Shuqing, Ma Tinbiao, Sun Jigai. A comparative analysis of the relationship between low-level jet stream and rainstorm[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1979, 37(4): 36-44.]

[8] 丁治英, 刘彩虹, 沈新勇. 2005—2008年5、6月华南暖区暴雨与高、低空急流和南亚高压关系的统计分析[J]. 热带气象学报, 2011, 27(3): 307-316. [Ding Zhiying, Liu Caihong, Shen Xinyong. Statistical analysis of the relationship between heavy rainfall and high and low level jet stream and South Asian high in May and June in South China from 2005 to 2008 [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2011, 27(3): 307-316.]

[9] 王柯, 何清, 王敏仲, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地特征层风场特征[J]. 干旱气象, 2011, 29(3): 302-305. [Wang Ke, He Qing, Wang Minzhong, et al. Wind field feature of characteristic layer in the hinterland of the Taklimakan Desert[J]. Journal of Arid Meteorology, 2011, 29(3): 302-305.]

[10] 李振山, 陈广庭. 塔克拉玛干沙漠起沙风况[J]. 中国沙漠, 1999, 19(1): 44-46. [Li Zhenshan, Chen Guangting. Effective wind regime in the Taklimakan Desert [J]. Journal of Desert Research, 1999, 19(1): 44-46.]

[11] 刘华悦, 葛覲铭, 黄建平. 塔克拉玛干低空急流特征分析[J]. 干旱气象, 2015, 33(3): 405-411. [Liu Huayue, Ge Jinming, Huang Jiangping. Characteristics of low level jet over the Taklimakan Desert[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(3): 405-411.]

[12] 李玲萍, 李岩瑛, 孙占峰, 等. 河西走廊东部沙尘暴特征及地面气象因素影响机制[J]. 干旱区研究, 2019, 36(6): 1457-1465. [Li Lingping, Li Yanying, Sun Zhanfeng, et al. Storm and its affecting meteorological factors in East Hexi Corridor[J]. Arid Zone Research, 2019, 36(6): 1457-1465.]

[13] 张海亮, 李火青, 买买提艾力·买买提依明. 新疆夏季行星边界层参数化方案模拟特征研究[J]. 干旱区研究, 2021, 38(1): 154-162. [Zhang Hailiang, Li Huoqing, Ali Mamtimin. Simulation characteristics of planetary boundary layer parameterizations: A case study in Xinjiang during summer[J]. Arid Zone Research, 2021, 38 (1): 154-162.]

[14] 魏倩, 隆霄, 赵建华, 等 边界层参数化方案对一次西北地区沙尘天气过程影响的数值模拟研究[J]. 干旱区研究, 2021, 38(1): 163-177. [Wei Qian, Long Xiao, Zhao Jianhua, et al. Impact of boundary layer parameterization schemes on the simulation of a dust event over Northwest China[J]. Arid Zone Research, 2021, 38 (1): 163-177.]

[15] 赛瀚, 苗俊峰. 中国地区低空急流研究进展[J]. 气象科技, 2012, 40(5): 766-771. [Sai Han, Miao Junfeng. A review of recent researches on low-level jet in China[J]. Meteorological Science and Technology, 2012, 40(5): 766-771.]

[16] 邓子风, 王扣兰, 王政宇. 塔里木东风低空急流与南疆降水[J]. 气象, 1982, 8(2): 7-10. [Deng Zifeng, Wang Koulan, Wang Zhengyu. The easterly low level jet in Tarim and the precipitation in southern Xinjiang[J]. Meteorological Monthly, 1982, 8(2): 7-10.]

[17] 邓子风. 干旱半干旱地区低空急流特征与暴雨关系的研究[J]. 新疆气象, 1990, 13(12): 1-8. [Deng Zifeng. Study on the relationship between the characteristics of low level jet stream and rainstorm in arid and semi-arid regions[J]. Xinjiang Meteorology, 1990, 13(12): 1-8.]

[18] 张家宝, 邓子风. 新疆降水概论[M]. 北京: 气象出版社, 1987: 400. [Zhang Jiabao, Deng Zifeng. Xinjiang Precipitation Generality [M]. Beijing: China Meteorology Press, 1987: 400.]

[19] 张家宝, 苏起元, 孙沈清, 等. 新疆短期天气预报指导手册[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1986: 456. [Zhang Jjiabao, Su Qiyu-

an, Sun Shenqin, et al. Guide Handbook on Xinjiang Short-Term Weather Forecast[M]. Urumqi: Xinjiang People's Press, 1986: 456.]
[20] 张丙午. 暖湿东风过程及其与新疆暴雨的关系[J]. 新疆气象, 1979, 3(2): 1−6. [Zhang Bingwu. The process of warm and wet east wind and its relationship with rainstorm in Xinjiang[J]. Xinjiang Meteorology, 1979, 3(2): 1−6.]
[21] 孙颖姝. 低空急流与新疆强降水的关系[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2019. [Sun Yingshu. The Relationship between Low-level Jet and Heavy Precipitin in Xinjiang[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2019.]
[22] 闫昕旸, 张强, 张文波, 等. 泛中亚干旱区气候变化特征分析[J]. 干旱区研究, 2021, 38(1): 1−11. [Yan Xinyang, Zhang Qiang, Zhang Wenbo, et al. Analysis of climate characteristics in the Pan-Central-Asia arid region[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(1): 1−11.]
[23] 朱乾根, 朱谦阳. 大、中尺度低空急流与暴雨[J]. 南京气象学院学报, 1982(2): 168−177. [Zhu Qiangen, Zhu Qianyang. Large-and meso-scale Low-level jet and Heavy rain[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 1982 (2): 168−177.]
[24] 赛瀚, 苗俊峰. 环渤海地区低空急流的时空分布特征[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(6): 91−98. [Sai Han, Miao Junfeng. Spatiotemporal distribution characteristics of low level jet over Bohai Sea rim [J]. Journal of Natural Disasters, 2012, 21(6): 91−98.]
[25] 王蕾, 张文龙, 周军. 中国西南低空急流活动的统计分析[J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(6): 797−805. [Wang Lei, Zhang Wenlong, Zhou Jun. Statistical analysis of the activity of low-level jet stream over southwest China[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2003, 26 (6): 797−805.]

Analysis of the characteristics of the easterly low-level jet in Tarim

YANG Xia[1], ZHOU Hongkui[2], ZHAO Keming[1], XU Tingting[1]
(1. Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002, Xinjiang, China;
2. Xinjiang Meteorological Information Center, Urumqi 830002, Xinjiang, China)

Abstract: The low-level jet has an important effect on the occurrence and development of events such as rainstorms, sandstorms, and severe convection. We analyzed conventional sounding data from 1981 to 2020 to determine the characteristics of the low-level jet in the east wind of Tarim. Our findings reveal that, from 1981 to 2020, there was a decreasing trend in the days, mean wind speed, and vertical wind shear of the easterly low-level jet, whereas there was an increasing trend in the mean height of this jet. The easterly low-level jet in Tarim occurred on 74.2 days per year, on average. The low-level jet of the East wind appears 74.2 days per year, its annual average wind speed is 16.3 $m\cdot s^{-1}$, and its average height is 1555.1 m. The vertical wind shear in the upper layer was 9.94×10^{-3} s^{-1} and that in the lower layer was 7.33×10^{-3} s^{-1}. The number of days, wind speed, and vertical wind shear were highest in spring, followed by summer, and lowest in winter, whereas the height was greatest in winter, followed by autumn, and lowest in spring. There was a considerable monthly difference in the low-level easterly jet in Tarim; the days and vertical wind shear of the upper layer were at the maximum in May and the minimum in December. The average wind speed was at its maximum in May and its minimum in December. The average height was greatest in January and lowest in April. The vertical wind shear at the lower level was at its maximum in April and its minimum in December. The average duration of the easterly low-level jet in Tarim was 2.3 days, with the longest duration in summer and the shortest in winter. There was a rapid decline in the frequency of the easterly low-level jet as the duration increased. The most frequent easterly low-level jets were those that lasted for one day; these accounted for 48% of the total frequency. Those with a duration of less than three days accounted for 76.0% of the total. In conclusion, the easterly low-level jet in Tarim, which is located in the inland arid region, belongs to the large-scale low-level jet, which is different from the low-level jet in China's monsoon region.

Keywords: low-level jet stream; the east wind; Tarim Basin; vertical wind shear